



Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov

Sagsnotat

Johannsen, Vivian Kvist

Publication date:
2019

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Document license:
[Ikke-specificeret](#)

Citation for published version (APA):
Johannsen, V. K., (2019). *Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov: Sagsnotat*, 18 s.

Naturstyrelsen og Miljø- og Fødevareministeriet
Christian Lundmark,
Mads Jensen, Bjørn Ole Ejlersen og Mogens Krog



SAGSNOTAT

8. FEBRUAR 2019

Vedr. Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov

SKOV, NATUR OG BIOMASSE

Sagsbehandler Vivian Kvist Johannsen

ROLIGHEDSVEJ 23

Kvalitetssikring Niclas Scott Bentsen, Thomas Nord-Larsen,
Lars Vesterdal, Inger Kappel Schmidt

1958 FREDERIKSBERG C

Indhold

DIR 35331699

MOB 20300969

Problemstilling	1
Baggrund	2
Resume	2
Grundlag	3
Usikkerheder	4
Overblik	5
Tabel 1 Sammendragstabel	7
Referencer	9
Bilag 1 Uddybende beskrivelser af beregningerne og muligheder for udbygning	11

vkj@ign.ku.dk

REF: VKJ

www.ign.ku.dk

Problemstilling

Som opfølgning på Naturpakken skal der på statens arealer de kommende år udlægges yderligere 10.200 ha urørte løvskove og nåletræsplantager helt uden træproduktion og 3.600 ha anden biodiversitetsskov med en nedsat træproduktion. Der er udpeget 45 skove og over det næste år skal der udarbejdes specifikke planer for områderne der beskriver tiltagene, herunder hvor meget der skal fældes og hvilken forvaltning, der fremover skal være på arealerne. Hvilken betydning har omlægningen for arealernes optag og udledning af drivhusgasser både på kort og langt sigt?

Baggrund

SIDE 2 AF 18

De skove som er udpeget til urørt skov eller anden biodiversitetsskov har været forvaltet efter statens retningslinjer gennem de sidste 200 år. De er kendetegnet ved en intensiv udnyttelse af arealet med en alderssammensætning der tilsiger en foryngelse over de kommende år. Ved omlægning til biodiversitetsformål indgår flere elementer, som ændrer forvaltningen og dermed grundlaget for optag og udledning af drivhusgasser.

I forbindelse med den politiske beslutning om naturpakken er det fastlagt, at dele af finansieringen af udlægningen af skove til biodiversitetsformål skal ske via udtag af træprodukter, inden de overgår til urørt skov. I de skove, der udpeges til anden biodiversitetsskov, vil det fortsat være muligt med en vis, nedsat træproduktion. Hugsten tilrettelægges, så den ligeledes benyttes til at skabe variation, lysninger og skovrande i de udpegede skove.

Yderligere variation sikres ved nogle steder at introducere græsende dyr og ved at nedlægge dræn og dermed sikres mere vand i skovene. Græsende dyr og mere vand skaber og fastholder flere lysåbne områder i de urørte skove og forbedre grundlaget for biodiversiteten (Naturstyrelsen 2018).

Naturstyrelsen har bedt Københavns Universitet om en vurdering af effekten på optag og udledninger af drivhusgasser ved de nye udlæg af urørt skov og anden biodiversitetsskov, jf. Aftale om Naturpakken.

Resume

Samlet set vil udlægning af 13.800 ha ekstra skov til urørt skov og biodiversitet i henhold til Naturpakken, på langt sigt, reducere det samlede areals optag af drivhusgasser til 0-1 kt CO₂ eq pr år mod referenceberegningens fortsatte optag på ca. 70 kt CO₂ eq pr år.

I de første 10 år af omstillingsperioden har omlægningen til urørt skov ingen eller kun en mindre effekt for det samlede optag og udledning i forhold til hvis de ikke var udlagt urørt. Det skyldes især, at det træ der fældes i biodiversitetsskovene stort set svarer til det der fældes, hvis skoven ikke var udlagt til biodiversitetsformål. Efter omstillingsperioden vil udlægning af skove til biodiversitetsformål reducere arealets samlede netto optag af CO₂ i forhold til, hvis de samme arealer blev drevet efter Naturstyrelsens sædvanlige naturnære skovdriftsprincipper. Reduktionen falder gradvist til ca. 10 % efter 100 år og til 1 % efter 200 år, hvorefter der forventes at være en netto ligevægt i skoven, men med begrænset mulighed for optag laget i høstede træprodukter.

Grundlag, usikkerheder og uddybning af beregningerne fremgår nedenfor.

Grundlag

SIDE 3 AF 18

Som reference er der foretaget en vurdering af optag og udledninger af drivhusgasser ved en fortsat naturnære skovdrift, som ellers ville være gældende på de nye udlæg af arealer (Business As Usual, BAU).

Vurderingen omfatter de samme fem drivhusgaspuljer, som danner baggrund for Danmarks rapportering til bl.a. UNFCCC og Kyoto-protokollen: 1) levende overjordisk og 2) underjordisk biomasse, 3) dødt ved, 4) skovbundens lag af ikke omsatte blade, nåle og grene (litter) og 5) mineraljorden samt effekter af dræning og ophør af dræning på jorden.

Arealet der er analyseret udgør ca. 2 % af det samlede skovareal i Danmark og knap 3 % af skovarealet etableret før 1990. Tilsvarende udgør biomasse og indflydelse på samlet opgørelser ca. 2 % af de samlede mængder.

Følgende data- og modelgrundlag er anvendt:

- Naturstyrelsens bevoksningskort og bevoksningsregister (NST 2018)
- Modeller udviklet til den danske Forest Reference Level, rapporteret i Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030 (Johannsen et al 2018).
- Beregningsmetoder for opgørelser af skoves klimaeffekter jf. IPCCs Guidelines (IPCC 2006, 2007, 2014).
- Opgørelsesmetoder og udvikling i dødt ved jf. Johannsen et al. (2015).

Følgende faktorer er inddraget i analysen:

- Vedmasseudvikling på træbevoksede arealer og arealer ryddet til naturlig succession. Der er antaget samme vedmasseniveauer ved samme alder (stock change metoden), og dermed ikke indregnet effekt af ændret tilvækst eller mortalitet.
- Effekter på puljen af dødt ved i skoven
- Ændret omfang af vand i skovene
- Omlægning af arealer til skovgræsning
- Høstede produkter fra skoven (til træprodukter og energitræ)

De grundlæggende rammer for analysen bygger på Naturstyrelsens retningslinjer for naturnær skovdrift (Skov- og Naturstyrelsen 2005) såvel som retningslinjer for urørt skov og anden biodiversitetsskov (Naturstyrelsen 2018).

Usikkerheder

SIDE 4 AF 18

Usikkerhederne i analysen er knyttet til en række faktorer bl.a.:

- 1) Reference niveauet for Naturstyrelsens naturnære skovdrift (BAU) er baseret på modeller for levetider for bevoksninger udviklet for hele skovarealet. Disse modeller angiver, hvor stor en andel af en aldersklassens areal, der forynges. Naturstyrelsen har implementeret Naturnær skovdrift løbende siden 2005, og omstillingen er stadig i gang. Der er usikkerhed om hvorvidt modellen passer ift. den faktiske udvikling, men modellen er det bedste bud med det givne grundlag.
- 2) Modellernes fremskrivning af skovtilstanden fra det nuværende vedmasseniveau fordelt på træarter og aldersklasser (per 2017) er brugt som en samlet opgørelse af skovens respons på skovdriften. Dette niveau er anvendt også i fremskrivningen af udviklingen.
- 3) De overordnede retningslinjer for forvaltning af skove til biodiversitetsmål er søgt omsat til forventede ændringer i skovens sammensætning af træarter og aldersklasser (primært baseret på bilag 1 i Naturstyrelsen (2018)). Der vil være lokale variationer i den konkrete forvaltning, tilpasset de aktuelle potentialer for biodiversitet. Det vil påvirke den faktiske udvikling af såvel levende som død biomasse. Påvirkningen kan både øge eller mindske optag og udledning af drivhusgasser. Der er indregnet to scenarier for reduktion af areal med europæiske nåletræer.
- 4) Udtag af biomasse fra skoven til kævler, tømmer og bioenergi varierer med træart, dimensioner, høst-teknologi samt muligheder for afsætning og denne variation er ikke inddraget. Dertil er der forskellige klimaeffekter af udtaget, hvor særligt produkter med lang levetid, som bygningselementer og møbler, lagrer kulstoffet i en længere periode og mindsker forbrug af energikrævende materialer. Biomasse til energi kan substituere fossile energikilder, hvor effekten i høj grad afhænger af hvilken type energikilde der erstattes med træ. Analysen opgør kulstofpuljen i vedmasseudtaget samlet med en substitution på 1:1. Det antaget af udlægget af urørt skov ikke påvirker det samlede marked for træ.

De nævnte usikkerheder vil kunne påvirke resultatet i forskellige retninger. Den givne tidsramme har ikke givet mulighed for at udarbejde en følsomhedsanalyse.

I Bilag 1 er der en uddybet gennemgang af de forskellige elementer i beregningerne.

Effekt på langt sigt

Et samlet overblik er givet i Tabel 1 – Sammendragstabel. Samlet set vil udlægning af 13.800 ha ekstra skov til urørt skov og biodiversitet i henhold til Naturpakken, på langt sigt, reducere arealets optag af drivhusgasser til 0 (inkl. hugst af træ), mod reference beregningens (BAU) fortsatte optag på ca. 70 kt CO₂ eq pr år. For reference udviklingen er der igennem hele perioden et optag knyttet til arealet (negative tal, med optag de 42,4 til 76,0 kt CO₂ eq pr år). For udviklingen i henhold til Naturpakken aftager optaget i løbet af perioden. Over en samlet langsigtet beregning frem til år 2200 giver reference beregningen (BAU) et optag på 13.474 kt CO₂ eq. Udlæg efter Naturpakken vil give et samlet optag på 1.661 kt CO₂ eq frem til 2200, mens et udlæg med mindre fjernelse af europæiske nåletræer vil reducere det samlede optag til knap 1.589 kt CO₂ eq i same periode.

Effekt på kort sigt

I den første del af omstillingsperioden (indtil 10 år efter aftalen, 2025 i Tabel 1) har omlægningen til urørt skov ingen eller kun en mindre effekt for det samlede optag og udledning i forhold til hvis de ikke var udlagt urørt. Det skyldes især at det træ der fældes i biodiversitetsskovene stort set svarer til det der fældes, hvis skoven ikke var udlagt til biodiversitetsformål. Det fældede træ oplagres som kulstof i tømmer i bygninger eller i andre træprodukter, mens energitræ (biomasse) subsidiere fossile brændsler (ses i rækkerne med høstet træ i Tabel 1).

Efter omstillingsperioden vil udlægning af skove til biodiversitetsformål reducere arealets samlede netto optag af CO₂ i forhold til, hvis de samme arealer blev drevet efter Naturstyrelsens sædvanlige naturnære skovdriftsprincipper. Omstillingsperioden for urørt løvskov forventes afsluttet i 2025, mens omstillingen for urørt nåleskov forventes afsluttet i 2050. Anden biodiversitetsskov omstilles straks. Reduktionen falder gradvist over perioden fra ca. halvdelen til efter 200 år at være en netto ligevægt i skoven, men uden optag laget i høstede træprodukter.

Forskellene mellem reference beregningen (BAU) og udlægget efter Naturpakken er knyttet til følgende hovedelementer, med grundlag i de antagelser og modeller der er beskrevet i Bilag 1 og det tilhørende regneark:

- 1) Udlæg efter Naturpakken vil give en stigning i kulstoflageret på arealet i såvel levende biomasse som dødt ved i løbet af de første 200 år, som følge af en stigende alder på det træbevoksede areal (fra 4,3 mio. t CO₂ eq til 5,7 mio. t CO₂ eq.) heri inkluderet et lavere kulstoflager på arealer udlagt til naturlig tilgroning. I perioden frem til 2200 forventes biomassen at stige svagt og derefter stabilisere sig omkring de 5,7 mio. t CO₂ eq. For reference tilstanden med naturnær skovdrift, forventes biomasse at stabilisere sig, blot på et lavere

niveau (3,9 mio. t CO₂ eq). Kulstoflager fremgår af rækken med Kulstoflager i Tabel 1.

SIDE 6 AF 18

- 2) Udlæg efter Naturpakken vil omfatte en større andel arealer udlagt til naturlig tilgroning. Dette skyldes at nogle arealer vil blive omfattet af skovgræsning, en del af arealer bliver vådere og der vil blive foretaget plantning i begrænset omfang. Det betyder, at disse arealer ikke bliver bevokset med træer med samme tæthed som de øvrige arealer. Kulstof i træerne på de arealer der er udlagt til naturlig tilgroning indgå i den samlede pulje af Kulstoflager i Tabel 1, mens areal fremgår af rækken med Lysåbne arealer.
- 3) Udlæg efter Naturpakken vil øge mængden af vand i skovene som følge af reablering af naturlig hydrologi. De præcise effekter på kulstofpuljen i jord, og på udledninger af andre drivhusgasser er et område der mangler viden. Ifølge standard beregninger vil det give anledning til øget udledning af drivhusgassen metan (CH₄), som følge af flere våde organiske jorder, mens der vil være et faldende udledning af lattergas (N₂O) og kulstof (CO₂) fra organiske jorde. Der er ikke indregnet effekter på de tørre jordens indhold af kulstof da der ikke er tilgængelige data til at underbygge det. I Tabel 1 er alle drivhusgasserne omregnet til samme enhed, CO₂ ækvivalenter (CO₂ eq.). I reference beregningen er der en udledning på 4,6 kt CO₂ eq pr år mens udlæg efter Naturpakken beregnes at give en udledning på 12,0 kt CO₂ eq pr år. Beregningerne er baseret på standard faktorer fra IPCC (2014) da der ikke haves dækkende danske opgørelser.
- 4) Udlæg efter Naturpakken vil reducere den biomasse der kan høstes til kævler, tømmer og bioenergi. Der vil være en mængde svarende til referencen (ca. 90.000 m³/år) under omstillingsperioden, hvorefter det forventes at falde til under 15 % heraf (ca. 11.000 m³). Dette vil være gældende også frem til 2200. Dette vil påvirke rapportering af Harvested Wood Products (HWP) og leverancer af energitræ. I Tabel 1 er medtaget kulstofindholdet i høsten uden indregning af substitutionseffekter og uden opdeling til efterfølgende anvendelse.

Usikkerheden i den estimerede udviklingen af biomasse i referencescenariet er knyttet til, at der i fremskrivningen er brugt standard modeller udviklet for hele Danmarks skovareal, mens Naturstyrelsen forvalter efter naturnær skovdrift. Der er ikke endnu udviklet et generelt prognoseværktøj for denne type forvaltning. Hvis Naturstyrelsens naturnære forvaltning i gennemsnit fører til større stående vedmasser end det kan forventes for Danmark som helhed, vil referencen resultere i et højere optag end indregnet her.

Tabel 1 Sammendragstabel

Effekter af forskellige scenarier for forvaltning af 13.800 ha

	2017	2025 (2017- 2025)	2030 (2025- 2030)	2050 (2031- 2050)	2100 (2051- 2100)	2200 (2101- 2200)
Reference udvikling (BAU) – Naturstyrelsens fortsatte planmæssige drift						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.346	4.226	4.111	3.560	3.866	3.932
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		15,0	14,4	27,5	-6,1	-0,6
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*		19,7	19,0	32,2	-1,5	4,1
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		157	252	896	823	1.289
Lysåbne arealer (ha)	232	232	232	232	232	232
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		-74,6	-74,6	-74,6	-74,6	-74,6
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		-596	-969	-2.460	-6.189	-14.763
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		-54,9	-55,5	-42,4	-76,0	-70,5
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		-439	-717	-1.565	-5.366	-13.474
Scenarie 1: Ny udvikling som følge af udlæg biodiversitetsskov efter Aftale om Naturpakken						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.346	4.226	4.402	4.680	5.230	5.693
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		15,0	-35,1	-13,9	-11,0	-4,0
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,7	2,0	11,2	11,2	11,2	11,2
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*		20,6	-23,1	-1,9	1,0	8,0
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		164	49	10	61	980
Lysåbne arealer (ha)	232	2.231	2.231	3.926	4.615	4.670
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		-67,6	-24,6	-24,6	-9,0	-9,0
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		-541	-664	-1.156	-1.606	-2.640
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		-47,1	-47,7	-26,5	-8,0	-1,0
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		-376	-615	-1.146	-1.545	-1.661
Scenarie 2: Ny alternativ udvikling med mindre udtag af europæisk nål – som følge af udlæg efter Aftale om Naturpakken						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.346	4.389	4.532	4.831	5.394	5.756
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		-5,4	-28,6	-15,0	-11,3	-3,1
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,7	2,0	11,2	11,2	11,2	11,2
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*		0,2	-16,5	-3,0	0,8	8,9
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		1	-81	-140	-103	916
Lysåbne arealer (ha)	232	2.231	1.833	3.328	3.887	3.993
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		-58,9	-22,0	-22,0	-9,0	-9,0
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		-471	-581	-1.021	-1.471	-2.505
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		-58,7	-38,6	-25,0	-8,2	-0,1
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		-470	-662	-1.162	-1.574	-1.589

Noter næste side

Noter til Tabel 1:

Kulstoflager – samlet lager i 1) levende overjordisk AG og 2) underjordisk biomasse BG, 3) dødt ved DW, og 4) skovbundens lag af ikke omsatte blade, nåle og grene (litter) FF
CO₂, N₂O og CH₄ er effekter af dræning og ophør af dræning på arealerne. Emissioner er omregnet til CO₂ eq. Se også bilag 1.

Lysåbne arealer – angiver areal der forventet at være ubevokset (i BAU scenariet) og hhv. lavt bevokset efter udlæg efter Naturpakken. Se også bilag 1.

Høstet træ angiver kulstofindholdet i det fældede træ. Der er ikke medregnet substitutionseffekter ud over 1:1. Se også bilag 1.

Omstillingsperioden for urørt løvskov forventes afsluttet i 2026, antaget ved udgangen af 2025.

Omstillingsperioden for urørt nåleskov forventes afsluttet i 2066, antaget ved udgangen af 2050.

Scenarie 1 Udlæg til urørt skov lader en andel på 25 % af europæisk nål forblive på arealerne.

Scenarie 2: Udlæg urørt skov lader en større andel på 50 % af europæisk nål forblive på arealerne.

* Samlet effekt opgjort i kt CO₂ eq/år", der angiver summen af effekter for hhv. kulstoflager og jord, høstet træ og samlet effekt. Negative tal i disse rækker angiver samlet optag af drivhusgasser fra atmosfæren, mens positive tal angiver udledning.

** Akkumuleret siden 2017 – angiver sum over år for effekterne i kt CO₂ eq for hhv. kulstoflager og jord, høstet træ og samlet effekt.

Referencer

- Bentsen, N. S., J. R. Jørgensen, I. Stupak, U. Jørgensen and A. Taghizadeh-Toosi (2019). Dynamic sustainability assessment of heat and electricity production based on agricultural crop residues in Denmark. *Journal of Cleaner Production* 213: 491-507
- De Rosa, M., M. Pizzol and J. Schmidt (2018). How methodological choices affect LCA climate impact results: the case of structural timber. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 23(1): 147-158.
- Geng, A., H. Yang, J. Chen and Y. Hong (2017). Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. *Forest Policy and Economics* 85(Part 1): 192-200.
- Graudal, L., Nielsen, U.B., Schou, E., Thorsen, B.J., Hansen, J.K., Bentsen, N.S., og Johannsen, V.K. (2013): Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100. Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, 86 s. ill.
- IGN (2018): Kort over IGNs Langsigtede feltforsøg.
<https://ign.ku.dk/om/kort-over-langsigtete-feltforsog/>
- IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC (2007): Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm
- IPCC (2014): 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds) Published: IPCC, Switzerland.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP_Supplement_Entire_Report.pdf
- Johannsen, V. K., Nielsen, K., Fritzboøger, B., Buchwald, E., Serup, H., Møller, P. F., Schmidt, I.K.; Kepfer Rojas, S.; Nord-Larsen, T. Larsen, J.B. Jørgensen, B.B. Vesterdal, L., Rune, F., Halse, A.Y., Riis-Nielsen, T., Arndal, M. F. (2015). Opgørelsesmetoder og udvikling i

dødt ved. (2. udg.) Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport

Johansen, V.K., Nord-Larsen, T., Scott Bentsen, N., Vesterdal, L. (2018): Danish National Forest Accounting Plan - 2021 - 2030. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, Frederiksberg. 78 pp.

Madsen, K. and S. N. Bentsen (2018). "Carbon Debt Payback Time for a Biomass Fired CHP Plant—A Case Study from Northern Europe." *Energies* 11(4).

Naturstyrelsen (2018): Overordnede retningslinjer for forvaltning af skov til biodiversitetsformål. Miljø- og Fødevareministeriet, Naturstyrelsen, Oktober 2018. 28 pp.

Nord-Larsen T, Johannsen VK, Arndal MF, Riis-Nielsen T, Thomsen IM, Suadican K & Jørgensen BB (2017): Skove og plantager 2016, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, Frederiksberg. 104 s. ill.

Nord-Larsen, T., Riis-Nielsen, T., & Ottosen, M. B. (2017). Forest resource map of Denmark: Mapping of Danish forest resource using ALS from 2014-2015. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen. IGN Report.

Sathre, R. and J. O'Connor (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy* 13(2): 104-114

Schumacher, J, & Nord-Larsen, T (2014): Wall-to-wall tree type classification using airborne lidar data and CIR images. *International Journal of Remote Sensing*, 35(9), 3057-3073.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2014.894670>

Skov- og Naturstyrelsen (2005): Handlingsplan for naturnær skovdrift i statsskovene. Miljøministeriet, 60 pp.

Smyth, C., G. Rampley, T. C. Lemprière, O. Schwab and W. A. Kurz (2017). Estimating product and energy substitution benefits in national-scale mitigation analyses for Canada. *GCB Bioenergy* 9(6): 1071-1084.

Bilag 1 Uddybende beskrivelser af beregningerne og muligheder for udbygning

Nedenstående er en kort teknisk beskrivelse af beregningerne som kan ses i sammenhæng med de regneark, der indeholder data såvel som beregninger.

Datagrundlag

Naturstyrelsen har stillet GIS-lag til rådighed der angiver afgrænsning og type af udlæg efter Naturpakken. Samtidig er der stillet GIS lag samt dataregister (bevoksningsliste) til rådighed for Naturstyrelsens arealer med information om anvendelse og aktuel tilstand.

Der er medtaget de fulde polygoner udlagt, inkl. Tidligere udlagte arealer. Effekten af de tidligere udlagte arealer er indregnet i reference beregningen, således at det er effekten af de nye udlagte arealer der opgøres.

Muligheder for udbygning:

Kortlægningsdata fra Lidar kortlægninger (Schumacher & Nord-Larsen 2014, Nord-Larsen et al 2017) vil kunne udbygge datagrundlaget, hvis der var flere ressourcer. Gentagen kortlægning med disse metoder vil kunne bidrage væsentligt til at dokumentere udviklingen i skovenes biomasse over tid.

Modelgrundlag

I forbindelse med udarbejdelsen af Danmarks bidrag til Paris aftalen har IGN udarbejdet modeller for fremskrivning af udviklingen for skovene. Dette er indarbejdet i publikationen Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030. Modellerne er beskrevet deri, og beskriver typiske levetider for skove i Danmark, fordelt på løv/nål og Øerne/Jylland.

Muligheder for udbygning:

Der er behov for bedre modeller for vækst og udvikling af såvel bevoksninger under naturnær skovdrift som urørt skov.

Vedmasseudvikling på træbevoksede arealer

Reference udvikling – naturnær skovdrift

Vedmasseudviklingen er baseret på fremskrivning af aldersklasserne baseret på modellerne for levetider kombineret med den aktuelle opgørelse af vedmasseniveauer i hver aldersklasse. Der er således anvendt det princip der kaldes 'stock change' hvor der ikke indarbejdes specifikke modeller for tilvækst, hugst og mortalitet, men antages at aktuel registrering af vedmasse pr. ha ved forskellige aldersklasser samlet repræsentere effekt af tilvækst og mortalitet (herunder hugst).

Fremskrivningerne er baseret på 5 års intervaller (som følge af NFI's 5 årige rotations interval). Der er benyttet modellen for løv på Øerne og for nål i Jylland, for bedst muligt at afspejle vækstvilkår for arealerne omfattet af udpegningen, og som dermed indgår i analysen.

Naturstyrelsens data er sammenstillet så det passer med modellerne.

Der er ikke indarbejdet særlige modeller for øget udpegning af livstræer eller øget brug af overstandere, ud over det der allerede indgår i Naturstyrelsens aktuelle opgørelser af vedmasser, herunder hyppighed og volumen af overstandere.

Udlæg efter Aftalen om Naturpakken

- Urørt løvskov
 - I omstillingen og efterfølgende overgår al løv gradvist til de ældre aldersklasser.
 - I omstillingen reduceres europæisk nål til 25 % i hver aldersklasse og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser. I den alternative beregning (scenarie 2) reduceres europæisk nål kun til 50 % i hver aldersklasse og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser.
 - I omstillingen ryddes al eksotisk nåletræ og arealet overgår til lysåbne arealer der overføres til naturlig tilgroning og skovgræsning.
- Urørt nåletræsplantager
 - I omstillingen og efterfølgende overgår al løv gradvist til de ældre aldersklasser.
 - I omstillingen forvaltes europæisk nål med hugst og overgang til lysåbne arealer der overføres til naturlig tilgroning og skovgræsning. En længere omstilling fører til sen reduktion af arealet med europæisk nål til 25 %. I den alternative beregning (scenarie 2) reduceres arealet med europæisk nål kun til 50 %. Arealer med nål ældre end 140 bevares og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser.
 - I slutningen af omstillingen ryddes al eksotisk nåletræ og arealet overgår til lysåbne arealer der overføres til naturlig tilgroning og skovgræsning. Indtil da vokser de eksotiske nåletræer og høstes løbende.
- Anden biodiversitetsskov
 - Omstilles straks og efterfølgende overgår al løv gradvist til de ældre aldersklasser.
 - Europæisk nål forynges efter samme model som for reference beregningen hvorefter de overgår til naturlig tilgroning og skovgræsning. Arealer med europæisk nål ældre end 140 bevares og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser.

- Eksotisk nåletræ forynges efter samme model som for reference beregningen hvorefter de overgår til naturlig tilgroning og skovgræsning.

Der er i vedmasseudviklingen ikke taget specielt højde for tiltag i de overordnede retningslinjer om strukturhugst og veteranisering, da der ikke er grundlag for særlige modeller herfor. Niveauer af biomasse ved starten af perioden i de forskellige aldersklasser ligger derfor til grund for fremskrivningen. Der er som i reference beregningen anvendt det princip der kaldes 'stock change' hvor der ikke indarbejdes specifikke modeller for tilvækst, hugst og mortalitet, men antages at aktuel registrering af vedmasse pr. ha ved forskellige aldersklasser samlet repræsentere effekt af tilvækst og mortalitet, herunder effekt af strukturhugst og veteranisering.

Muligheder for udbygning:

Der er brug for udbygning af datagrundlag for modeller for udvikling af biomasse i både naturnær skovdrift og i arealer forvaltet for biodiversitet, både urørte og biodiversitetsforvaltede arealer. Referencegrundlaget for omstillinger fra plantager til urørte skove er stadig begrænset og udlæg af arealer efter Naturpakken er en unik mulighed for at dokumentere dette.

Vedmasseudvikling på arealer ryddet til naturlig succession

Reference udvikling – naturnær skovdrift

Det forventes et konstant areal under kultivering (UKU areal) på 232 ha. Der forventes ikke vedmasse på dette areal.

Vedmasseudviklingen beskrives af de niveauer der er registreret i 2017. Der er ikke tillagt ekstra vedmasse som følge af en forventet højere udpegning af veterantræer.

Udlæg efter Aftalen om Naturpakken

I forbindelse med rydning af en række bevoksninger og fjernelse af bl.a. eksotiske nåletræer og en del af rødgran vil der opstå arealer der vil henligge til naturlig succession, herunder arealer til skovgræsning. Der vil kun i begrænset omfang blive foretaget plantning, med fokus på arealer udlagt til urørt nåleskov, hvor løv vil blive indplantet (jf. Naturstyrelsen 2018). Der forventes en meget lysåben/spredt bevoksning på disse arealer, hvorfor vedmasse udviklingen på disse arealer forventes at være som angivet i tabellen herunder. Der er tale om skøn, baseret på vedmasseniveauer for andet løv fra Nord-Larsen et al (2017) og reduceret da der forventes at være en del arealer hvor der ikke er tæt bevoksning.

År	Urørt løvskov	Urørt nåleskov	Anden biodiversitetsskov
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
2017	0	0	0
2027	10	10	10
2037	20	20	20
2057	30	20	30
2077	40	20	40
2097	60	40	60
2117	75	50	75
2217	75	75	75

Muligheder for udbygning:

Tilgroning og effekt af græsning på udviklingen af biomasse på disse arealer er ikke tidligere dokumenteret over længere perioder. Der vil således være behov for at øge viden og data herom.

Puljen af dødt ved i skoven

Grundlæggende er der anvendt samme principper som i Johannsen et al (2015) fra delrapporten om prognose for udviklingen fremover.

Reference udvikling – naturnær skovdrift

Følger principperne i rapporten om livstræer, efterladelse af træer ved stormfald og hugst m.v. Der er i referencen indregnet de arealer der allerede var udlagt til urørt skov og andre særlige driftsformer. Beregningerne er udført frem til 2115 mens forventning til niveau for 2215 er 10 % over niveauet fra 2115.

Udlæg efter Aftalen om Naturpakken

Følger principperne i rapporten for urørt skov og for plukhugst. Niveauerne er som angivet herunder. Det er forventet at urørt løv skov og anden biodiversitetsskov er på gode jorde (høj tilvækst), mens urørt nåleskov er på dårlige jorde (lavere tilvækst). Tallene er gennemsnitstal for det samlede areal, uanset om det er træbevokset eller udlagt til arealer med naturlig succession. Beregningerne er udført frem til 2115 mens forventning til niveau for 2215 er 25 % over niveauet fra 2115.

År	Jordtype	urørt skov	Plukhugst, tilgroningsarealer, græsning særlig
		m ³ /ha	m ³ /ha
2017	Gode	8	8
2017	Dårlige	7	7
2065	Gode	100	35
2065	Dårlige	50	30
2115	Gode	150	50
2115	Dårlige	80	40
2215	Gode	188	62
2215	Dårlige	100	50

Muligheder for udbygning:

Der vil være behov for at dokumentere den faktiske udvikling, herunder særligt dokumentation af veterantræer/livstræer og henfald af dødt ved over tid.

Ændret håndtering af vand i skovene

For jordbund og hydrologi, er der allerede i rapporteringen af klimadata for de danske skove indarbejdet effekt af Handlungsplanen for naturnær skovdrift (Skov- og Naturstyrelsen 2005) der har medført mindsket dræning på en del af arealet. Dette udgør reference beregningen.

I forbindelse med udlæg efter Naturpakken forventes en reduceret afvanding og dermed øget fugtighed i de udlagte arealer som helhed. I rapporteringen beregnes klimagasser for det areal der ændrer fugtighed, med fokus udelukkende på de organiske jorde. Faktorerne er beskrevet i Johannsen et al (2018) og IPCC (2014). Areal med grøfter i de udlagte arealer reduceres fra 2,5 % til 1 %. Andel af drænet organisk jord reduceres fra 50 % til 10 %, idet det forventes at være behov for afvanding på meget få arealer.

Der anvendes følgende standard emissionsfaktorer, som også anvendes i den almindelige rapportering (Johannsen et al 2018).

Element	faktor	Enhed	Kilde
N2O EF for Drained organic soils	4,4	kg N2O/ha/år	wetland supplement p.3:19 negligible if watertabel shallower than 20 cm
CH4 EF for organic drained soils	2,5	kg CH4/ha/år	Wetland supplement tabel 2.3, i GPG2006 opdelt i poor og rich
CH4 EF for ditches on organic drained soils	217	kg CH4/ha/år	Wetland supplement chp 2 tabl 2.4
CH4 EF for organic rewetted poor soils	92	kg CH4-C/ha/år	Wetland supplement tabel 3.3, men her opdelt i poor/rich
CH4 EF for organic rewetted rich soils	216	kg CH4-C/ha/år	Wetland supplement tabel 3.3
CH4 EF rewetted Inland Mineral Wetland Soils	235	kg CH4-C/ha/år	WS table 5.4, s 5.18
EF_organic_soils, Kg C/ha/år	2,6	ton CO2-C/ha/år	wetland supplement 2013 kap. 2 tabel 2.1

Muligheder for udbygning:

Kortlægning af vand og fugtighed i skovene kan udbygges både gennem direkte målinger og gennem analyse af bl.a. satellitbilleder samt kobling med de faktiske jordbundstyper. Der har endnu ikke været ressourcer til at foretage denne kortlægning, der vil kunne dokumentere tilstand og udvikling af vand i skovene.

Jordbund

Der er ikke medregnet effekter på jordbundens indhold af kulstof, men der er brugt standard faktorer jf. Johannsen et al (2018). Ved udtagning af landbrugsjorde fra almindelig drift til fx permanent græs, reduceres CO₂ udledningen fra den hyppige jordbearbejdning. Tilsvarende effekter er der ikke i skov, da jordbearbejdningen i reference beregningen (naturnær skovdrift) er minimal.

Muligheder for udbygning:

IGN ligger inde med ubearbejdede jordbundsdata indsamlet i hhv. urørte og forstligt drevne skove, men data kunne ikke inddrages med den korte tidsfrist. Desuden ligger der indsamlede og ikke analyserede jordbundsprøver fra forskellige vådbundsarealer/fugtighedsgradienter i de samme skove. Dette vil kunne udbygge grundlaget for jordbundens indhold af kulstof.

Ændringer over tid følges i en landsdækkende sampling (SINKS skovjord). Ved målingen i 2008 blev der ikke fundet systematiske ændringer over tid. Den næste genmåling foretages 2018-2019 og resultaterne vil ligge klar i løbet af 2020. Ændringer i fugtighed vil være repræsenteret på en lille andel af stikprøven.

Omlægning af arealer til skovgræsning

Skovgræsning forventes, som gennemsnitsbetragtning, at foregå på de arealer der er udlagt til naturlig succession. Der er i beregningerne af klimaeffekter derfor ikke udlagt yderligere arealer til græsning og der indregnes ikke klima effekter på jordbund. Der er ikke indregnet effekt af dyr i opgørelsen.

Muligheder for udbygning:

Effekten af skovgræsning på såvel opvækst af træer, påvirkning af litter lag samt jordbundens drivhusgasser er endnu meget lidt belyst. Der er behov for yderligere data og dokumentation af dette.

Høstede produkter fra skoven og deres anvendelse

Der er ansat nogle standard hugsttal $\text{m}^3/\text{ha}/\text{år}$ for såvel reference udviklingen og for udlægget efter Naturpakken. I Nord-Larsen et al (2017) er den gennemsnitlige hugst opgjort til $5,8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{år}$ for landet som helhed. Da de udpegede arealer ligger hovedsagligt på gode boniteter. Hugsten er i samme publikation opgjort til 7,1 hhv. $6,9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{år}$ for Hovedstaden og Sjælland hvilket tages som har dannet grundlag for ansættelse af forventede gennemsnitlige hugst mængder for omstillingen af urørt løv i de 10 år omstillingsfasen forløber. For omlægningen af urørt nål forventes samme niveau som i de gennemsnitlige skove. For reference niveauet (BAU) er der beregnet et areal vægtet gennemsnit baseret på de indgående arealers fordeling til hhv. løv og nål, således at gennemsnitlig hugst forventes at være $6,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{år}$. Der forventes en mindre hugst i arealer med anden biodiversitetsskov, hvorfor hugst er sat til 50 % af den gennemsnitlige hugst for det samlede skovareal.

For den alternative beregning (scenarie 2) for udlæg efter Naturpakken, forventes lidt lavere hugst i omstillingsperioden som følge af bevaring af mere europæisk nåletræ.

Der er anvendt gennemsnitlig rumtæthed på 0,45 og kulstof/tørstof på 0,5 i omregningen til kulstofpuljer.

	Scenarie 1	Scenarie 2
Forvaltning	$\text{m}^3/\text{ha}/\text{år}$	$\text{m}^3/\text{ha}/\text{år}$
Reference hugst,	6,5	6,5
Initial omstilling (10 år) for urørt løv hugst $\text{m}^3/\text{ha}/\text{år}$	7,0	6,0
Initial omstilling (50 år) for urørt nål, hugst $\text{m}^3/\text{ha}/\text{år}$	6,0	5,0
Anden biodiversitetsskov, hugst $\text{m}^3/\text{ha}/\text{år}$	3,0	3,0

Træprodukters substitution

Der er ikke inddraget markedsmedierede substitutionseffekter for de enkelte vedmasseprodukter i analysen. Det er således antaget, at efterspørgslen på træprodukter falder tilsvarende reduktionen i høsten af træprodukter som følge af udlægget af skov som urørt eller til biodiversitetsformål

Der er ikke noget officielt bud på træprodukters substitutionseffekt.

Der er lavet en del undersøgelser af klimaeffekten af træprodukter, når også fortrængning tages i betragtning. En hyppig anvendt kilde er Sathre & O'Connor (2010), som viser at 1 ton kulstof i træprodukter (ikke træ til energi) fortrænger 1-3 ton fossilt kulstof med en medianværdi på 2,1. Der er ikke videnskabelig konsensus om træprodukters substitutionseffekt og

alternative bud kan findes i disse kiler (De Rosa et al 2018, Geng et al 2017, Smyth et al 2017, Bentsen et al (2019)).

I Madsen & Bentsen (2018) analyseres på en reelt gennemført konvertering fra kul til træ blev det fundet at den umiddelbare udledning fra biomasse var lidt højere (+3,2%) end for kul, altså en fortrængningseffekt på 0.97. Men når kulstofgæld og naturligt forrådnelse af biomassen blev taget med i betragtning var gælden alligevel tilbagebetalt inden for det første år efter konverteringen.

Den støkiometriske CO₂ udledning fra træ er næsten den samme eller lidt over kul, så hvis konverteringen fra kul til træ ikke nedsætter værkets effektivitet vil udledningen være den samme.

Man kan ikke antage, at en bestemt energiresource pr automatik fortrænges af biomasse til energi, hverken kul eller vindenergi. I hvert enkelt tilfælde må man analysere den sammenhæng biomassen kommer til at indgå i, hvor træet kommer fra og hvad der ville være sket med træet hvis det ikke blev brugt til energi. Der er en udbredt mangel på empiri ift. spørgsmålet hvad der erstattes. Reelt må man aktuelt forvente at alternativet til biomasse er et mix af kul, naturgas, vandkraft (importeret el), vind og sol. Jo længere vi kigger ud i fremtiden, des mere 'grønt' bliver alternativet til biomasse, men pt har vi ikke en infrastruktur (el lagring, varmelagring, import/eksport af el), der muliggør at fossil kraftvarmeproduktion erstattes udelukkende med vindmøller.

Pt. er det vel nærmere 60% af hugsten, der går direkte til energi og med et skæreudbytte på 47-48% af resten er det ca. 20% der ender direkte i træprodukter (HWP) med en substitutionseffekt på 2 og resten i energi med en gennemsnit på 0.5 (et mix) – vil det være $0,2 \cdot 2 + 0,8 \cdot 0,5 = 0,8$. Hvis biomassen erstatter udelukkende kul vil effekten være $0,2 \cdot 2 + 0,8 \cdot 0,97 = 1,2$.

Substitutionseffekten er MEGET afhængig af hvor stor en del af træet der udnyttes til varige produkter (og det kan være andet end tømmer produceret på savværker) og hvilke energikilder det erstatter. I beregningerne er der anvendt en substitutionseffekt på 1. Dette for at holde analysen inden for de givne ressourcemæssige tidsrammer.

Muligheder for udbygning:

Der kunne inddrages analyser af effekten af substitution, herunder effekten af brug af træ til byggeri og energi. Dette ville have været for omfattende at inddrage i den aktuelle analyse, da substitution af stål, beton, kul og gas afhænger af en række forhold som pris, mængder og markedskræfter.

Det vil være vigtigt at følge den faktiske udvikling i hugststudtaget i såvel i omstillingen som efterfølgende.